

(51) Int. Cl. ⁸	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
C 3 0 B 23/08	M			
C 2 3 C 14/06	A	8414-4K		
14/22	Z	8414-4K		
C 3 0 B 29/38	D	8216-4G		
29/40	5 0 2 K	8216-4G		

審査請求 未請求 請求項の数 4 F D (全 8 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平6-102300

(22) 出願日 平成6年(1994)4月15日

(71) 出願人 000006655

新日本製鐵株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72) 発明者 藤井 智

相模原市淵野辺5-10-1 新日本製鐵株式会社エレクトロニクス研究所内

(72) 発明者 寺田 敏行

相模原市淵野辺5-10-1 新日本製鐵株式会社エレクトロニクス研究所内

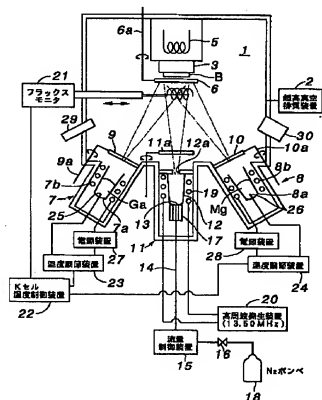
(74) 代理人 弁理士 大島 陽一

(54) 【発明の名称】 分子線エビタキシー装置

(57) 【要約】

【目的】 窒化ガリウム系化合物のエビタキシャル結晶を成長させるために、高真空状態で高密度のプラズマを発生することができ、かつ結晶成長中の分子ビームを適正にフィードバック制御して基板上に高い品質の結晶を成長させることができる分子線エビタキシー装置を提供する。

【構成】 結晶成長室側に開口すると共に窒素ガスの供給口を有する有底筒状のケーシングの底部に磁石が設けられ、更にケーシングの外周に高周波コイルを配設したプラズマ励起セルからなる励起セル装置を用いることにより、低圧であっても低い高周波パワーで高いプラズマ放電発光強度が得られることから、容易に窒素ガスを励起でき、また低圧であることから結晶成長室内に設けられた各分子ビームの強度を測定するためのセンサを設け、その測定値から成長原料の分子ビームの強度をフィードバック制御でき、分子ビームの強度を安定化できるようになる。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板の表面に、ガリウム系元素、窒素及びドーパントを供給して窒化ガリウム(GaN)系化合物半導体エピタキシャル結晶を成長させるための分子線エピタキシー装置であって、

前記窒素を活性化するための励起セル装置が、結晶成長室側に開口すると共に窒素ガスの供給口を具備する有底筒状のケーシングと、該ケーシングの底部に設けられた磁石と、前記ケーシングの外周に配設された高周波コイルとを具備するプラズマセルからなり、

前記成長原料の分子ビームの強度を測定するべく前記結晶成長室内に設けられた分子ビーム強度センサと、前記分子ビーム強度センサの測定値から前記各原料の分子ビームの強度をフィードバック制御する制御装置とを有することを特徴とする分子線エピタキシー装置。

【請求項2】 当該分子線エピタキシー装置が、成長原料をヒータで加熱することによりその分子ビームを発生するようにしており、

前記制御装置が、前記ヒータによる加熱状態を制御することにより分子ビームの強度を制御することを特徴とする請求項1に記載の分子線エピタキシー装置。

【請求項3】 前記分子ビーム強度センサが、電離真空計からなり、該電離真空計により測定された真空度から分子ビーム強度を求めることを特徴とする請求項1若しくは請求項2に記載の分子線エピタキシー装置。

【請求項4】 前記ガリウム系元素が、ガリウム(Ga)、アルミニウム(Al)及びインジウム(In)のうちから選択される1種若しくは2種以上の元素からなり、

前記ドーパントが、p型ドーパントとしてのマグネシウム(Mg)、亜鉛(Zn)、カドミウム(Cd)及び水銀(Hg)のうちのいずれか、またはn型ドーパントとしての砒素(Si)、ゲルマニウム(Ge)、炭素(C)、錫(Sn)、セレン(Se)及びテルル(Te)のうちのいずれかからなり、

前記基板が、サファイア、砒素(Si)、砒化ガリウム(GaAs)、酸化亜鉛(ZnO)、炭化砒素(SiC)及び酸化マグネシウム(MgO)のうちのいずれかからなることを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の分子線エピタキシー装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、基板の表面にガリウム系元素、窒素及びドーパントを供給して窒化ガリウム(GaN)系化合物半導体エピタキシャル結晶を成長させるための分子線エピタキシー装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】窒化ガリウム系化合物は、青色・紫色発光素子(発光ダイオード(LED)や半導体レーザ(L

2

D))材料として良く知られており、薄膜結晶成長方法としては、有機金属化学気相成長法(以下、本明細書ではMOCVD法と記す)と分子線エピタキシー法(以下、本明細書ではMBE法と記す)が一般的に用いられる。効率の良い発光素子を製造する上で、薄膜の電気伝導制御(p型-n型)は不可欠であるが、従来の窒化ガリウム系化合物では、低抵抗で品質の良いp型結晶を得ることが困難であった。

【0003】そこで、例えばMOCVD法によるp型結晶の製造方法として、マグネシウム(Mg)をp型不純物として添加して薄膜を成長させた後に電子線を照射する技術が発表されている(応用物理、1991年、2月号、第60巻、p163参照)が、電子線照射の効果は表面より0.3 μ m-0.5 μ mの深さまでが限度であり、厚膜のp型層を得ることは困難であった。また、MOCVD法での成長圧力は一般的に数torr-大気圧であり、成長中に電子線を照射することは不可能であるため、成長を中断し、別室にて電子線を照射する必要がある。成膜プロセスが複雑となる問題があった。

【0004】また、MOCVD法による発光効率に優れた窒化ガリウム系青色LEDの製造方法が特開平5-63236号公報に開示されている。これは基板上にGaAlNバッファ層、p型不純物をドーブしたGaAlN層、n型不純物をドーブしたGaAlN層を順次積層した構造とすることにより発光層となるp型GaAlNの結晶性を改善するものである。この方法では発光効率を上げるためにp型層を厚くすることが望ましいが、上記した電子線効果が得られる厚みは0.5 μ mが限界と考えられる。また、n型層積層後ではp型層まで電子線効果が及ばないため、バッファ層とp型層とを成膜後、成長室から基板を一度取り出し、その後電子線照射を行い、再度成長室に戻してn型層を成長する必要がある。また、一般的に窒化ガリウム系化合物のエピタキシャル結晶をMOCVD法により成長する場合は、窒素原料となるアンモニア(NH₃)熱分解のため、成長温度が1000℃を越える。このため成長表面からの窒素抜けによる結晶性劣化の恐れや、これを防止するため、大量のNH₃を必要とし、大がかりな装置が必要となる。

【0005】一方、低温で効率良くNH₃を分解する方法として、ECR励起MOCVD法が試みられ、550度で単結晶が得られたとの報告がある(真空、1987年、第3号、第30巻、p116)が、基板面が直接プラズマ雰囲気曝露されるため、結晶表面にダメージが入る恐れがある。

【0006】加えて、MOCVD法での窒素原料としてNH₃は、その純度、安全性及び価格面から工業的に最も利用しやすい材料であるが、結晶膜中にN-Hの形で取り込まれ易い。結晶中に取り込まれた水素はドーパントを電気的に不活性化する場合があり、例えば、p型Zn

50

Sc結晶の成長を目的とする窒素ドーピング原料にNH₃を用いた場合の水素バッシベーション効果は良く知られている(第12回混晶エレクトロニクスシンポジウム論文集p129)。

【0007】従って、MOCVD法は大面積基板への多数枚成長という一般的利点を有するものの窒化ガリウム系化合物のエピタキシャル結晶を成長させる際には、p型結晶を得るためにプロセスが複雑になる点、NH₃を用いることにより装置が大型化し、更に結晶の劣化し易くなる問題をする。

【0008】一方、MBE法による窒化ガリウム系化合物のエピタキシャル結晶成長も試みられており、MOCVDより低温での結晶成長が可能である。その際、窒素源としてはプラズマセルにより活性化した窒素を用いるのが一般的である。

【0009】例えば、J.Vac.Sci.Technol.,A7 p701(1989)には、2.45GHzのマイクロ波プラズマ放電により活性化した窒素ビームを用いたGaN薄膜成長が報告されている。一般的にプラズマ放電を起こすには、適当な圧力範囲があり(10⁻¹torr~10⁻³torr)、この範囲を外れると放電を安定して維持することはできない。従って、結晶成長中のMBE装置の成長室内に於ける真空度はプラズマ安定放電条件で律され、前記論文においても5×10⁻⁵torr~5×10⁻⁶torrであり、これは通常のMBE成長時のそれよりも約1桁低い真空度である。MBE法の利点の一つに電子線による成長中のその場(in situ)観察(例えば、電子線回折(RHEED)、LEED、オージェ電子分光(AES))が挙げられるが、電子銃の安定動作条件として10⁻⁷torr以上の真空度が望ましいため、上記圧力範囲での電子線の利用は困難である。

【0010】また、J.Vac.Sci.Technol.,B8 p316(1990)には、ECR励起によるプラズマ放電で活性化した窒素ビームを用いたGaN成長が報告されている。マイクロ波だけの励起と比較して高密度のプラズマが発生できるものの成膜中の真空度については改善されない(論文によれば、1×10⁻⁴torr~1×10⁻⁵torr)ばかりでなく、マイクロ波発振機や導波管が必要となるため、装置が高価となり、また成長室近傍の付帯設備が多くなるため、装置メンテナンス性も悪くなると言う問題があった。

【0011】他方、上述の励起源以外にも、13.5MHzの高周波によるプラズマセルも適用可能であり、その一例が特開平5-74710号公報に開示されている。これによればマイクロ波を利用した場合と比較しプラズマ密度の点で劣るが、比較的安価で、プラズマセル構成がコンパクトな励起源として市販されているため(例えば、Oxford Applied Research社 MPD21等)利用し易い。この公報によれば2×10⁻⁶torrでの成長が開示されており、上記

した2つの例より真空度の点で改善されているもののMBE法としては実際には充分とは云えない。

【0012】プラズマセルは一般的に、放電室、放電室内のプラズマ放電により活性化した窒素をMBE成長室に引出し、かつ成長室と放電室との間の圧力差を維持するためのオリフィスと、プラズマ励起源と、ガス供給部とからなる。また、窒化ガリウム系化合物のエピタキシャル結晶を成長させるために必要な活性窒素量を基板面に供給するためには、放電室内で1×10⁻¹torr~1×10⁻³torr程度の圧力を確保し、かつ結晶成長室側で最低でも5×10⁻⁵torr以上の真空度を保てるよう、ガス流量、オリフィス開口径、ポンプ排気速度を調整し、放電パワーを制御する必要がある。

【0013】ここで、上記活性窒素量を多くするべく放電パワーを上げ過ぎると、発熱によるコンタミ発生、発熱、異常放電による放電室破壊が起きることが懸念される。また、オリフィス開口径を大きくすると、放電室と結晶成長室との圧力差を維持できないことから開口径を小さくしておく必要があるが、その場合には基板表面で成長に必要な活性窒素量(単位面積当りに到達する窒素個数)を確保するために励起セルと基板との距離とを近づけなければならない。ところが、セルと基板との距離が近くなるほど、成膜可能な面積は小さくなることから(例えば3インチ基板に結晶を均一に成長させるためのセルと基板との距離は少なくとも20cm以上)、現実的な大きさの基板に均一に結晶成長させるためには成膜程度両者間の距離を必要とする。例えば特開平5-74710号公報には、結晶成長室の真空度を2×10⁻⁶torr、ガス流量を5cc/min、基板とセルのオリフィスとの距離を5cm、高周波出力を300WとしたGaNのエピタキシャル結晶成長が開示されている。一般的に成長室内の圧力P(torr)と、結晶成長室のポート口における排気速度S(l/sec)と、成長室内への供給ガス量Q(cc/min)との関係は、 $P=0.0127 \times Q/S$ である。これにより上記条件を満足する排気速度Sは、31750l/secと推察される。また、基板とセルとの距離から成膜可能な基板サイズは最大でも1インチ程度と考えられる。更に、プラズマ放電部分が基板表面に近い場合、基板面に照射される電子線進行に揺らぎを生じ、RHEED観察、制御性の良い成長表面の電子線スキニングは困難であり、あまり現実的とは云えない。

【0014】加えて、特に原料として気体窒素を用いる場合、結晶成長室内の気圧変動が成長原料の分子ビームに影響を及ぼすことが考えられることから、分子ビームの強度を適正に制御する必要があるが、例えば公知のB-A型電離真空計等を用いて真空度から分子ビームの強度を測定しようとする、電子銃の安定動作条件と同様に10⁻⁷torr以上の真空度を必要とする。従って、

そのままでは分子ビームの強度を測定することは困難であり、この分子ビームに生じる揺らぎを適正に制御することができず、結晶の品質を著しく低下させる心配があった。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記したような従来技術の問題点に鑑みなされたものであり、その主な目的は、窒化ガリウム系化合物のエピタキシャル結晶を成長させるために、高真空状態 (1×10^{-7} torr 以上) で高密度のプラズマを発生することができ、即ち、オリフィス開口を大きくして該オリフィス開口と基板とを離して大面積基板への結晶成長が可能であり、かつ結晶成長中の分子ビームの適正にフィードバック制御して基板上に高い品質の結晶を成長させることができる分子線エピタキシー装置を提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】上述した目的は本発明によれば、基板の表面に、ガリウム系元素、窒素及びドーパントを供給して窒化ガリウム (GaN) 系化合物半導体エピタキシャル結晶を成長させるための分子線エピタキシー装置であって、前記窒素を活性化するための励起セル装置が、結晶成長室側に開口すると共に窒素ガスの供給口を具備する有底筒状のケーシングと、該ケーシングの底部に設けられた磁石と、前記ケーシングの外周に配設された高周波コイルとを具備するプラズマセル (以下ヘリコンプラズマセルと記す) からなり、前記成長原料の分子ビームの強度を測定するべく前記結晶成長室内に設けられた分子ビーム強度センサと、前記分子ビーム強度センサの測定値から前記各原料の分子ビームの強度をフィードバック制御する制御装置とを有することと特徴とする分子線エピタキシー装置を提供することにより達成される。

【0017】

【作用】このようにすれば、ヘリコンプラズマ励起セルにより低圧 ($10^{-7} \sim 10^{-9}$ torr 程度) の状態であっても低い高周波パワー (5W~300W) で rf プラズマ励起セルよりも 1 桁程度高いプラズマ放電発光強度が得られる。また、結晶成長に寄与しない窒素分子ビーム量が減り、成長中のマイクレーションが促進され、更にセル周辺の加熱が抑制されて放電室内壁などからの汚染物質の発生が抑制される。図4に、窒素ガス流量を 0.1 cc/min、スペクトル位置 763 nm として他の条件を同じにしたヘリコンプラズマ励起セルと rf プラズマ励起セルとで高周波パワーに対するプラズマ放電発光強度を比較したグラフを示す。

【0018】 また、分子ビーム強度を測定し、Kセル温度制御装置の設定を調節することにより、望ましい分子ビーム強度とすることができる。

【0019】

【実施例】以下、添付の図面に従って本発明の好適実施

例について説明する。

【0020】図1は本発明が適用された分子線エピタキシー装置 (MBE装置) の概略構成を示す模式的断面図である。本実施例はサファイア基板上への窒化ガリウム (GaN) のエピタキシャル結晶を成長させ、ドーパントとしてマグネシウム (Mg) を導入して p 型結晶を得るための MBE 装置である。

【0021】1500 l/min の排気能力を有するターボ分子ポンプからなる超高真空排気装置2により $10^{-7} \sim 10^{-9}$ torr 程度の高真空を維持可能な結晶成長室1内にはホルダ3により処理表面が下向きになるように3インチの基板Bが保持されている。このホルダ3の基端側、即ち図に於ける上側には基板加熱用のヒータ5が設けられていて、また、円板状のメインシャッタ6が、基板Bの成膜を開始する位置、即ち基板Bの処理表面を覆わない位置と、成膜を停止する位置、即ち基板Bの処理表面を覆う位置との間で自動自在に支持され、その駆動軸6aを外部から回転させることにより成膜を選択的に開始/停止し得るようになっていて、

【0022】結晶成長室1の下部に於ける基板Bと概ね対向する位置には、基板Bに向けて開口する2つのクローセンセル (以下、本明細書ではKセルと略記する) 7、8が設けられている。これらKセル7、8は、基板Bに向けて開口するつば7a、8aとこれを有するつば7b、8aを加熱するためのヒータ7b、8bとを有している。また、各Kセル7、8の開口部には上記メインシャッタ6と同様な円板状のシャッタ9、10が、各Kセル7、8の開口を覆う位置と、開口を覆わない位置との間で自動自在に支持され、その駆動軸9a、10aを外部から回転させることにより選択的に各つば7a、8a内に受容された原料を分子ビームとして基板Bに向けて照射するようになっている。

【0023】一方、各Kセル7、8とは別に結晶成長室1の下部に於ける基板Bと概ね対向する位置に窒素プラズマの励起セル装置11が設けられている。図2に良く示すように、この励起セル装置11は、結晶成長室1側に開口し、内部に放電室を形成する高純度セラミックからなる有底筒状のケーシング12と、該ケーシング12の底部に開口し、かつ管路14、流量制御装置15及び減圧弁16を介して窒素ボンベン18に接続された窒素ガスの供給口13と、管路14を外囲するようにケーシング12の底部に設けられた筒状の磁石17と、ケーシング12の外周に配設され、高周波発生装置20に接続された高周波コイル19とを具備するプラズマ励起セルからなる。ケーシング12の開口にはこれを絞るオリフィス12aが設けられていて、また、ケーシング12の開口には上記シャッタと同様なシャッタ11aが設けられている。

【0024】結晶成長室1内には、各分子ビームの強度を真空中から測定するべく公知のB-A型電離真空計か

らなる分子ビーム強度センサとしてのフラックスモニタ21が設けられている。フラックスモニタ21は、各分子ビームが直接照射される位置、即ちメインシャッタ6の直前位置と、各分子ビームが直接照射されない位置、即ち図1に於ける左側壁面近傍位置との間で矢印に示すように移動し得るようになっている。また、フラックスモニタ21は、制御装置22に接続されている。この制御装置22は、各Kセル7、8に対応する温度調節装置23、24に接続されている。この温度調節装置23、24は、各Kセル7、8のるつぼ7a、8a内にて各成長原料の温度を測定するための熱電対25、26及び各ヒータ7b、8bの電源装置27、28に接続され、フラックスモニタ21により測定された分子ビーム強度に応じて制御装置22が、温度調節装置23、24に設定温度を指令値として出力し、この温度調節装置23、24が各Kセル7、8のるつぼ7a、8a内温度を熱電対25、26をもって測定しつつ各ヒータ7b、8bを電源装置27、28をもって個々に制御することにより、るつぼ7a、8a内温度、即ち各分子ビーム強度をフィードバック制御するようになっている。

【0025】尚、結晶成長室1内の適宜な位置には電子銃29も設けられ、基板Bの全面をスキャンし得るようになっている。また、電子銃29から基板Bに向けて照射され、該基板に反射された電子ビームを受けて基板の結晶成長状態を観察するためのRHEEDスクリーン30が基板Bを挟んで電子銃29と相反する位置に設けられている。

【0026】以下に本実施例の作動要領について説明する。まず、るつぼ7aにガリウム(Ga)、るつぼ8aにマグネシウム(Mg)を受容し、表面をエッチング及び洗浄した基板Bをホルダ3に下向きに保持する。このとき、励起セル装置11のケーシング12の開口と基板Bとの距離は20cmである。また、結晶成長室1内を超高真空排気装置2により真空引きして 10^{-7} ~ 10^{-9} torr程度の高真空を維持する。

【0027】次に、基板Bを900℃程度に加熱してサーマルクリーニングする。このとき、活性窒素を基板Bに照射しつつサーマルクリーニングすれば後に成長させる結晶の品質が向上する。このとき、電子銃29から基板Bに向けて電子ビームを照射し、RHEEDスクリーン30のパターン、即ち基板Bの表面の様子を観察し、ストリーク状となったら基板Bの表面が清浄化されたとして基板Bの温度を結晶成長温度(600℃程度)に下げ、一方、各シャッタ9、10、11aを閉じたままガリウムを950℃、マグネシウムを280℃まで加熱する。

【0028】そして、所定時間経過後にまずシャッタ9を開閉してフラックスモニタ21によりガリウムの分子ビームが安定するように制御装置22、温度調節装置23及び電源装置27をもって制御する。次にシャッタ1

0を開閉してフラックスモニタ21によりマグネシウムの分子ビームが安定するように制御装置22、温度調節装置24及び電源装置28をもって制御する。各分子ビームが安定したらフラックスモニタ21を分子ビームが直接照射されない図1に於ける左側壁面近傍位置に引っ込み、シャッタ9、10を共に閉じ、励起セル装置11にて高周波を発生させ(150W)、窒素ガスを0.01cc/minの流量でケーシング12内に郭成された放電室に供給する。励起セル装置11内の気圧は 8.5×10^{-8} torrとなる。ここでは磁石17による磁場と高周波セル19との相互作用により高密度の窒素プラズマが発生する。その後、窒素プラズマが安定したら、シャッタ9、10、11aを開き、最後にシャッタ6を開いて基板Bの表面に窒化ガリウムのエピタキシャル結晶を成長させつつその中にマグネシウムをドーパントとして導入してp型結晶を得ることができる。このとき、同時に加速電圧を15KVとして電子銃29により電子線を基板Bをスキャンしつつその全面に照射する。

【0029】このようにして形成されたp型結晶では 1×10^{19} cm⁻³のキャリア濃度が得られ、そのばらつきは3インチ基板で5%であった。

【0030】ここで、高周波パワーを5W未満にすると放電が短くならず、300Wを超えると結晶中に窒素原子が入り過ぎて結晶の品質が低下する。また、窒素流量を0.01cc/min未満にすると放電を維持することが困難になり、0.5cc/minを超えるとMBE装置の結晶成長に於ける圧力条件から外れる心配が生じる。

【0031】図3は本発明が適用された第2の実施例に於けるMBE装置の概略構成を示す模式的断面図であり、第1の実施例と同様な部分には同一の符号を付し、その詳細な説明を省略する。

【0032】本実施例では、フラックスモニタ31、32が各Kセル7、8の直上の結晶成長の妨げにならない位置に固定されている。また、フラックスモニタ31はKセル7に対応し、これに向けて開口する筒状カバー33に覆われ、かつフラックスモニタ32はKセル8に対応し、これに向けて開口する筒状カバー34に覆われている。これにより、高い指向性をもって各Kセル7、8からの分子ビームの強度を測定することができる。更に、各筒状カバー33、34には冷却管35、36が巻装され、これにより筒状カバー33、34を冷却することでその内外面に付着した成長原料などが再蒸発してフラックスモニタ31、32の測定精度を低下することを防止するようになっている。

【0033】各フラックスモニタ31、32は第1の実施例と同様な制御装置22に接続され、フラックスモニタ31、32により測定された分子ビーム強度に応じて制御装置22が、温度調節装置23、24に設定温度を指令値として出力し、この温度調節装置23、24が各

Kセル7、8のつば7a、8a内温度を熱電対25、26をもって測定しつつ各ヒータ7b、8bを電源装置27、28をもって個々に制御することにより、るつば7a、8a内温度、即ち各分子ビーム強度をフィードバック制御するようになっている。それ以外の構造は第1の実施例と同様である。

【0034】以下に本実施例の作動要領について説明する。るつば7a、8aにガリウム、マグネシウムを受容し、基板Bをホルダ3に保持して真空引きし、基板B、ガリウム、マグネシウムを加熱するまでの手順は第1の実施例と同様である。

【0035】次に、所定時間経過後にはまずシャット9、10を開閉してフラックスモニタ31、32により各分子ビームの強度を測定してガリウム、マグネシウムの分子ビームが安定するように制御装置22、温度調節装置23、24及び電源装置27、28をもって制御する。そして、励起セル装置11にて高周波を発生させ、窒素ガスをケーシング12内に郭成された放電室に供給する。その後、窒素プラズマが安定したら、シャット6を開いて基板Bの表面に窒化ガリウムのエビタキシャル結晶を成長させつつその中にマグネシウムをドーパントとして導入する。このとき、本実施例では前記したようにフラックスモニタ31、32が結晶成長の妨けにならない位置に固定されていることから結晶成長中もフラックスモニタ31、32により各分子ビーム強度を測定し続けることができ、ガリウム、マグネシウムの分子ビームが安定するように制御装置22、温度調節装置23、24及び電源装置27、28をもって制御し続けることができる。これにより、第1の実施例よりも一層各分子ビームの強度を適正制御でき、結晶品質が向上する。尚、本実施例ではフラックスモニタに直接分子ビームを照射してその強度を測定するものではないが、成長原料の蒸発により直上に進む分子の量（強度）と分子ビームの強度とは略比例することから実際に分子ビームの強度を測定するのと同様な測定結果が得られる。

【0036】尚、上記各実施例に於てRHEEDスクリーン30を常に監視してその値も考慮して各Kセル7、8のヒータ7b、8bの温度、窒素ガス流量及び高周波パワーを制御すれば、各ビームを一層好適にフィードバック制御でき、結晶の品質を向上することができる。

【0037】また、上記各実施例では結晶成長原料としてガリウム（Ga）を用いたが、ガリウム（Ga）、アルミニウム（Al）及びインジウム（In）のうちの1種若しくは2種以上を選択的に用いて良い。また、本実施例ではp型ドーパントとしてマグネシウム（Mg）を用いたが、亜鉛（Zn）、カドミウム（Cd）または水銀（Hg）を用いても良く、更にn型ドーパントとしての珪素（Si）、ゲルマニウム（Ge）、炭素（C）、錫（Sn）、セレン（Se）またはテルル（Te）を用いれば、上記同様に高い品質のn型結晶が得られる。更

に、上記各実施例では基板にサファイアを用いたが、珪素（Si）、砒化ガリウム（GaAs）、酸化亜鉛（ZnO）、炭化珪素（SiC）または酸化マグネシウム（MgO）であっても良く、基板と窒化ガリウム層との間にバッファ層としてモルファス状の窒化アルミニウム（AlN）や窒化ガリウム（GaN）、短結晶の窒化アルミニウム（AlN）、窒化ガリウム（GaN）、炭化珪素（SiC）酸化亜鉛（ZnO）、または酸化マグネシウム（MgO）を設けても良い。

【0038】

【発明の効果】以上の説明により明らかなように、本発明による分子線エビタキシー装置によれば、窒化ガリウム系化合物半導体エビタキシャル結晶を成長させるために、活性窒素ガスを供給するべく、結晶成長室に開口すると共に窒素ガスの供給口を有する有底筒状のケーシングの底部に磁石が設けられ、更にケーシングの外周に高周波コイルを配設したプラズマ励起セルからなる励起セル装置を用いることにより、低圧（ 10^{-7} ～ 10^{-8} torr程度）の状態であっても低い高周波パワー（5W～300W）で高いプラズマ放電発光強度が得られることから、容易に窒素ガスを励起でき、また、低圧であることから結晶成長室内に設けられた各分子ビームの強度を測定するためのセンサの測定値から成長原料の分子ビームの強度をフィードバック制御でき、分子ビームの強度を安定化でき、常に良質の結晶が得られるようになる。以上のことから従来の分子線エビタキシー装置に簡単な構造を付加するのみで窒化ガリウム化合物半導体エビタキシャル結晶の品質を向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に基づく第1の実施例に於ける分子線エビタキシー装置の概略構成を示す模式的断面図である。

【図2】図1の励起セル装置のみの要部拡大断面図である。

【図3】本発明に基づく第2の実施例に於ける分子線エビタキシー装置の概略構成を示す図1と同様な断面図である。

【図4】ヘリコンプラズマ励起セルとrfプラズマ励起セルとで高周波パワーに対するプラズマ放電発光強度を比較したグラフである。

【符号の説明】

- 1 結晶成長室
- 2 超高真空排気装置
- 3 ホルダ
- 5 ヒータ
- 6 メインシャット
- 6a 駆動軸
- 7、8 クーセンセル
- 7a、8a るつば
- 7b、8b ヒータ
- 9、10 シャット

11

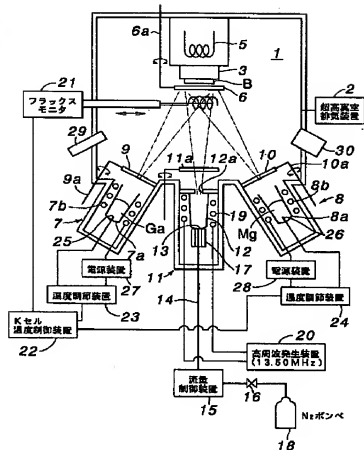
12

- 9a、10a 駆動軸
11 励起セル装置
11a シャッタ
12 ケーシング
12a オリフィス
13 窒素ガス供給口
14 管路
15 流量制御装置
16 減圧弁
17 磁石
18 窒素ボンベ
19 高周波コイル

- 20 高周波発生装置
21 フラックスモニタ
22 制御装置
23、24 温度調節装置
25、26 熱電対
27、28 ヒータ電源装置
29 電子銃
30 RHEEDスクリーン
31、32 フラックスモニタ
33、34 筒状カバー
35、36 冷却管

10

【図1】



【図2】

